

豊田合成オリジナルインフレーター開発

森 圭介 *1

Development of Toyoda Gosei Original Inflator

Keisuke Mori *1

要 旨

80年代に初めてエアバッグが市販車に搭載されて以降、急速に普及し、現在では日米欧でほぼ全ての車種に標準装備されるようになった。近年では各国の法規、レイティング整備が進み、サイドエアバッグ、カーテンエアバッグといった側突対応のエアバッグ搭載率も上がっており、エアバッグの高性能化が求められている。その性能に大きく寄与する最重要部品であるハイブリッドインフレーター（火薬と高圧ガスを内蔵したガス発生装置）を当社として初めて開発し、量産化した。

エアバッグ高性能化技術として最もニーズの高いものの一つがバッグ早期展開である。その手段として、高性能火薬の採用によりインフレータのガス噴出し時間（TTFG）を短縮することで、バッグ早期展開を達成した。

またインフレータを内製するにあたり同業他社とは異なり、その工程を既存エアバッグモジュール工程と同一建屋に設置できるよう火薬をユニット化し、法規適用除外とすることで対応した。その結果、工程が簡素化されコンパクトで生産性の高い工程とすることができた。

さらに豊田合成オリジナルの新ガス充填工法を開発することで、充填質量バラツキを抑えたインフレータを開発することができた。その結果出力バラツキが小さいインフレータとすることが可能となった。

Abstract

After the airbag was installed in a car on the market for the first time in the 80's, spread rapidly and all almost models have been equipped normally in Japan-U.S.-Euro. Regulations and rating revised of each country advance in recent years, the rate equipped with the airbag for the side impact such as the side airbags and the curtain airbag goes up, too and making the airbag efficient is requested. A hybrid inflator (gas generator consisting of pyrotechnic and high-pressure gas) that was the most important parts that greatly contributed to the performance was developed for the first time as Toyoda Gosei, and mass-produced.

The technology with the highest needs is developing the airbag at the early stage. By using high performance pyrotechnic the time to first gas was shortened, and make it possible to develop the airbag at the early stage.

Moreover, considering to product inflator in house, in order to set up in the same to existing airbag module process building, pyrotechnic parts ware made a unit and made it outside the regulations application.

In addition, as the new gas filling method was developed, the inflator with a small mass variance was able to be developed. It became possible to make the inflator with a small variance of output as a result.

*1 Keisuke Mori SS第1技術部 SS要素技術室

1. はじめに

米国でのエアバッグ装備義務化以降、各国の法規、レイティング整備が進み、エアバッグに求められる性能も多種多様化している。エアバッグモジュールで最重要部品に位置付けされるインフレーターを当社は自社生産しておらず、他社から購入していた。

特に近年は側面衝突の法規アセスメントも各国整備が加速され、今後市場が拡大すると予想されるカーテンエアバッグ（CAB）、サイドエアバッグ（SAB）の性能、コスト競争力が急務であった。そのためCAB、SABで使用されるハイブリッドインフレーター開発に着手、2010年より量産化するに至った。

本稿では豊田合成オリジナルインフレーターの特徴を紹介する。

製品事例として座席シート内に搭載されるサイドエアバッグ（SAB）の搭載位置を図 - 1 に示す。またSABモジュール構成を図 - 2 に、SABのバッグ展開事例を図 - 3 に示す。

ハイブリッドインフレーターはリテーナに固定された状態で折畳まれたバッグ内に格納されSABモジュールとして座席シート背もたれの側面に搭載される。本事例のSABでは衝突時の車両からの信号により8msの短時間で展開が完了する。

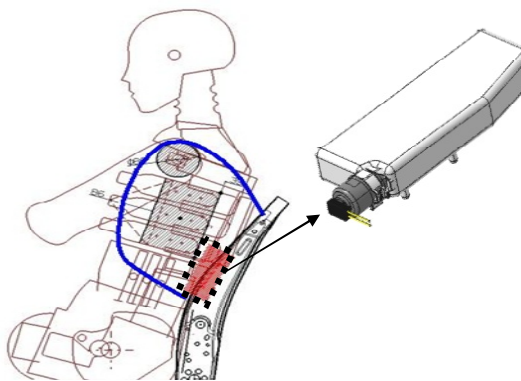


図 - 1 SAB搭載位置

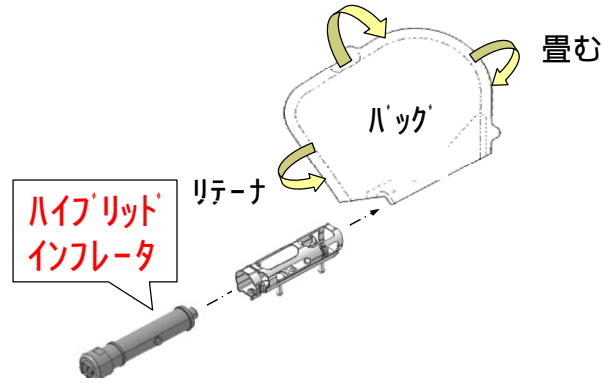


図 - 2 SABモジュール構成



図 - 3 SAB展開写真

2. 法規・レイティング動向

近年法規・レイティング強化による試験条件改定やダミーサイズ大型化により、車両衝突後からダミーがドアトリムに当たるまでの時間が短くなっている。このためエアバッグにはバッグの展開スピード向上が求められるようになっている。

サイドインパクト試験の例を図 - 4 に示す。



図 - 4 サイドインパクト試験

3．ハイブリッドインフレータとは

3 - 1．基本構造と作動プロセス

ハイブリッドインフレータ（以降インフレータと称す）とは火薬と高压ガスの両方を用いたガス発生装置であり，図 - 5 に示すよう火薬装填室と高压ガス充填室で構成され，主に側突用エアバッグに使用される．

高压ガス充填室は溶接により密閉された压力容器となっており，アルゴンを代表とする不活性ガスが約50MPa（500気圧）に圧縮された状態で充填されている．

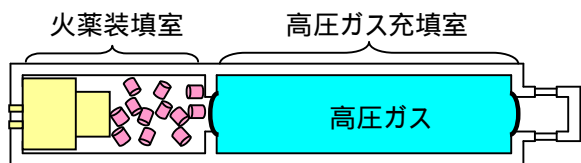


図 - 5 ハイブリッドインフレータ構造

インフレータ作動プロセス図を図 6 に示す．作動プロセス詳細を下記 ~ に示す．

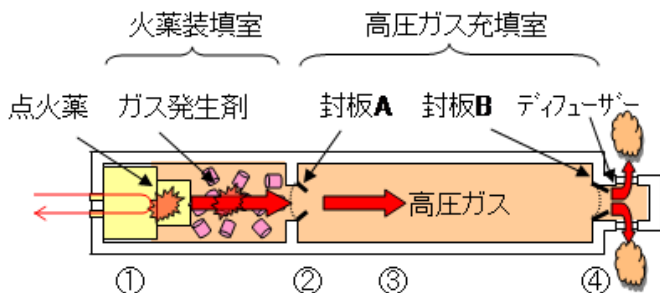


図 - 6 インフレータ作動プロセス

車両衝突時のECUからの信号（着火電流）により最初にインフレータ内の火薬装填室の点火薬に着火，続いてその発生熱によりガス発生剤が着火する．

ガス発生剤の燃焼で発生するガスと熱により火薬装填室の圧力が上昇し封板Aが破れる．

火薬装填室からの熱が高压ガス充填室内の高压ガスが暖められる．

高压ガス充填室の圧力上昇により封板Bが破れ，高压ガスがディフューザの穴より放出され，バッグを膨張させる．

3 - 2．インフレータに求められる性能

インフレータ性能は図 - 7 に示すような28.3Lタンク内でインフレータを着火し，内部圧力を計測することにより得られる図 - 8 に示すようなタンクカーブ（圧力 時間曲線）により示される．

インフレータに求められる性能の一つにガス噴出し開始時間：TTFG（Time To First Gas）があげられる．TTFGはインフレータに着火電流が流れてからガスが放出されるまでの時間であり，図 - 8 の左側に示すタンクカーブの圧力が立ち上がるまでの時間として表すことができる．エアバッグを早期展開するために最もニーズの高い性能である．

また図 - 8 のタンクカーブの最大圧力を出力と呼び乗員拘束に必要なバッグ内圧を得るために重要な特性となる．そのためこの出力バラツキの低減がもう一つの重要な性能となっている．



図 - 7 28.3Lタンク

ガス噴出し開始時間: TTFG (Time To First Gas)
出力バラツキ

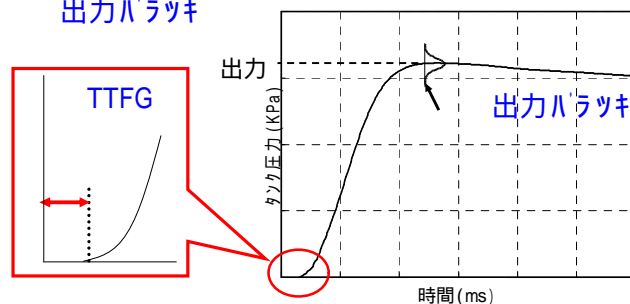


図 - 8 タンクカーブ（圧力 時間曲線）とインフレータに求められる性能

4. 豊田合成インフレータの特徴

豊田合成インフレータ構造の特徴として図 - 9 に示すように以下の2つが挙げられる。

- 1) 火薬のユニット化
- 2) 金属部品の形状簡素化

火薬をユニット化 (MGG; Micro Gas Generator) することにより、火薬に関する法規の適用が除外となるため、火薬取扱い認可のない当社工場でもインフレータの製造が可能となる。

このためインフレータ製造ラインを、エアバッグモジュール組付け工程と同一工場内に設置でき、生産リードタイム短縮を図ることができた。また組付け部品点数が削減でき、コンパクトで生産性の高いインフレータ組付け工程としている。

金属部品簡素化についてはガス充填室の溶接にYAGレーザー溶接を採用、接合部形状の自由度を向上させることで鍛造部品 (ハウジング、ディフューザ) の切削レス化、縮管加工のないストレートボトル採用を可能とした。

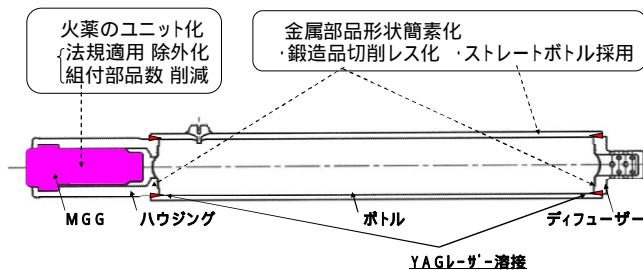


図 - 9 豊田合成インフレータの特徴

前述のインフレータに求められる性能を向上させるため次の開発に取組んだ内容を次項で紹介する。

- 1) TTFG早期化 高性能火薬の開発
- 2) 出力バラツキ低減 新ガス充填工法開発 (図 10)

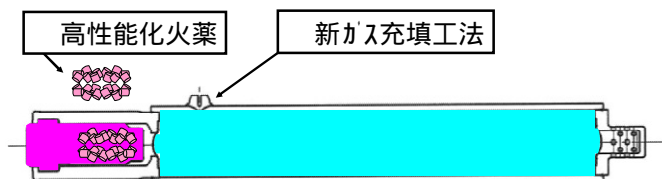


図 - 10 性能向上の取組み

5. 高性能火薬の開発 (当社初の取組み)

5 - 1. 開発コンセプト

本インフレータの開発目標の一つとして、TTFG開発目標を2ms以下と設定(他社比 20%)。

この目標を達成するために、新火薬開発に着手し、火薬のコンセプトを次のように考えた。

- 1) 高燃速火薬：火薬燃焼速度を上げる
火薬着火から燃焼完了にかかる時間を短縮する
- 2) 高発熱火薬：燃焼時の単位時間あたりの発熱量を増やす
発熱量を上げ、より早く高压ガスを暖め封版を破る圧力に達するまでの時間を短縮する

次に火薬の燃焼速度を上げる方法については次のように考えた。

$$\begin{aligned} \text{火薬反応速度} &: V = S \cdot t \quad [\text{mm}^3] \\ \text{線燃焼速度} &: v = A \cdot P^n \quad [\text{mm/s}] \end{aligned}$$

S : 表面積
A : 定数(火薬配合に依存)
n : 圧力指数(火薬配合に依存)
P : 圧力

上記の式より火薬の燃焼速度を上げるためには圧力指数：n及び火薬表面積：Sを大きくすることが有効と考え、圧力指数は火薬配合を見直すことで、表面積は火薬形状の工夫により対応。

また火薬の配合設定は燃焼速度の他、その発熱量が高くなるよう図 11に示すコンセプトと目標に基づき検討を進めた。

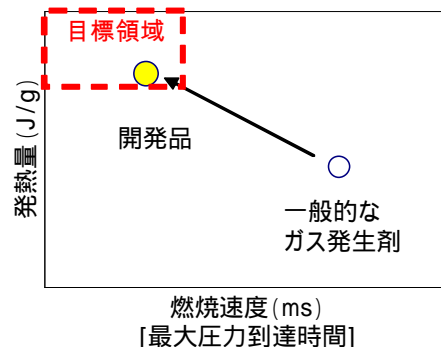


図 - 11 新火薬コンセプトと目標

5 - 2 . 結果

前述の開発コンセプトに基づく、高燃速、高発熱火薬の開発を実施し、火薬の開発が完了した。

図 - 12に27ccの容器内で一定熱量の火薬単品を燃焼させた圧力カーブ（圧力 - 時間曲線）を示す。

配合、形状を見直した新火薬は一般的なガス発生剤に比べ燃焼速度が約4倍となっていることがわかる。また発熱量は一般的な火薬の約1.8倍の発熱量を得ることができた。

図 - 13に開発した火薬を用いたインフレータのタンクカーブを示す。

他社品に比べTTFGが0.7ms短縮され、目標の2msを達成できた。

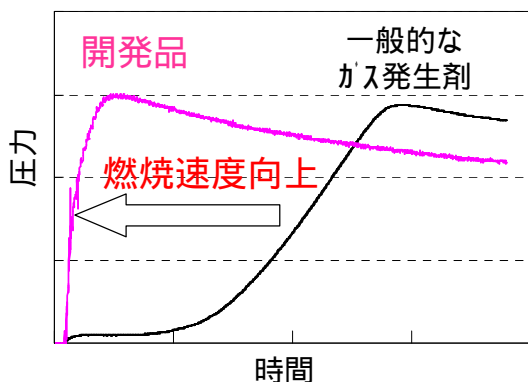


図 - 12 27ccタンクカーブ

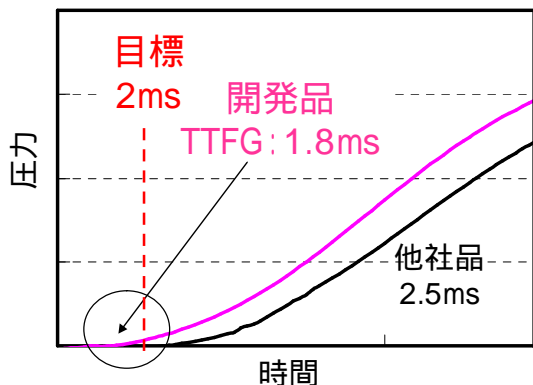


図 - 13 28.3Lタンクカーブ

このインフレーターをサイドエアバッグモジュールで評価した結果を図 - 14に示す。

同じバッグを用いてインフレーターのみを他社品、と本開発品と入替え評価したものである。

展開時間	0ms	5ms	展開完了
他社品			
開発品			

図 - 14 エアバッグモジュール展開試験結果

図 - 14の5ms時のバッグが他社品と比較して早く膨張していることがわかる。

これはTTFGが短縮されたことにより、着火後5ms時点でバッグに噴出されたガスが多いためであり、その結果として豊田合成オリジナルインフレーターを採用することでバッグ展開完了時間が1.0ms短縮された。

6. 大気圧下ガス充填工法の開発

6-1. ガス充填工法の概要

インフレーターに求められる性能として、前述のタンク出力のバラツキ低減がある。タンク出力バラツキ低減の方策として、高圧ガス充填室に充填されるガスの質量バラツキを低減させることが必要である。

理想気体の状態方程式よりガス質量(モル数)を一定するためにはP：圧力 T：温度を工程内で制御する必要があることがわかる。

$$PV = nRT$$

$$n = PV / RT \quad \text{容器体積} V = \text{const.} \quad \text{として}$$

$$n = *P / T \quad (; \text{定数})$$

本報告では充填中の圧力：Pのバラツキ低減に着目した豊田合成オリジナル新ガス充填工法について報告する。

6-2. 従来工法の課題(ベンチマーク)

従来のガス充填工法の作動フローを図-15に示す。作動プロセス詳細を下記 ~ に示す。

充填準備：曲面シールをボトルに突き当てる

ガス充填：高圧ガスが曲面シールを通り、ボトルに充填される。

封止(溶接)：封止体と電極が曲面シール内の高圧雰囲気内をストロークし抵抗溶接により高圧ガスを封止する。

完了：曲面シールがボトルから離れ、ガス充填のサイクルが完了。

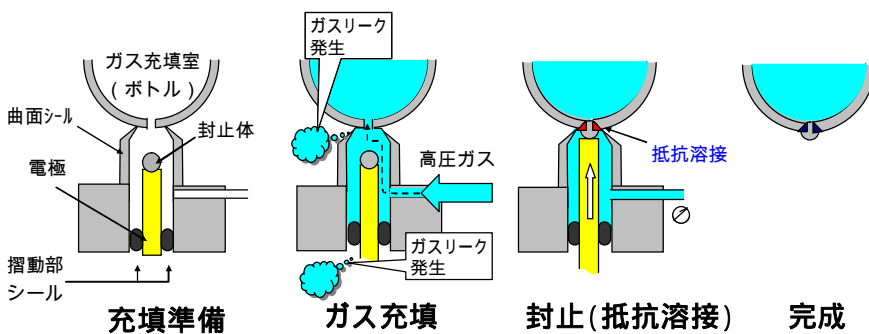


図-15 従来工法

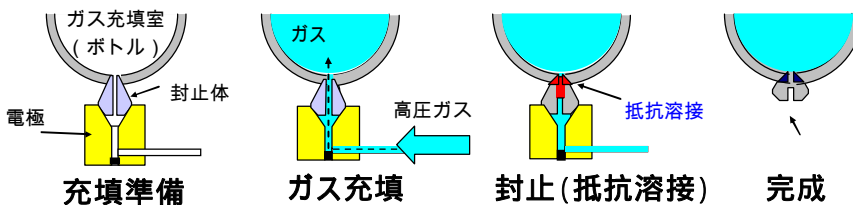


図-18 新ガス充填工法

従来工法のベンチマークよりわかったガス充填バラツキ要因を以下に示す。

- 1) 設備シールからのリークによる圧力変動
- 2) 電極のストロークによる圧力変動

従来工法において曲面シール(図-16)、摺動部シール(図-17)の2つの設備シールが使用される。曲面シールは鋼鉄製でボトルの曲面に合った鋭利な先端形状をボトルに突き当てることで高圧ガスをシールするもので、その形状と使われ方から磨耗しやすく高圧ガスがリークする。

摺動部シールも同様に電極の摺動により磨耗しやすくリークが発生することがわかった。さらに電極が曲面シール内部をストロークすることで圧力変動が発生、ガス質量のバラツキの要因になっていることがわかった。

高圧ガスを充填、封止するため曲面シールにより高圧力の空間(チャンバー)を造り、その内部で封止(溶接)している。この設備構造上の高圧力チャンバーが圧力バラツキの原因となっている。

6-3. 大気圧下ガス充填工法

前述の従来工法ベンチマークの結果よりガスリーク原因となる高圧力チャンバーを必要とせず、大気圧下で封止(溶接)が可能な新工法(大気圧下ガス充填工法)を図-18に示す。

作動プロセス詳細を下記 ~ に示す。



図-16 曲面シール



図-17 摺動部シール

- 充填準備：封止体をボトルに溶接の加圧力で押し付ける。
- ガス充填：高圧ガスが封止体の穴を通りボトルに充填される。
- 封止(溶接)：電極がストロークすることなく通電し、ガスを封止する。
- 完了：電極が封止体から離れ、サイクル完了。

本工法の特徴は封止体に穴加工し、その穴を通し高圧ガスを充填することで、大気圧下での封止を可能としており、従来工法で必要であった曲面シール、摺動部シールを廃止することができた。

ガス充填時に封止体を溶接に必要な加圧力で押し付けておくことにより、封止体自体にガスケットの役割をさせることで高圧ガスのシールが可能であり、本開発工法においてガスリークを撤廃することができた。

6 - 4 . 新工法の課題解決方法

本開発工法において高圧ガスを封止するには、封止体に高圧ガスを通すため追加した穴を溶接時にその熱により閉じる必要がある。

封止には抵抗溶接が採用されているが、その原理は封止体とボトルの接触部の抵抗発熱を利用し溶融、接合するものである。

そのため接触部と離れた部位にある穴を抵抗溶接と同時に閉じるためには抵抗発熱により発生した熱を穴に伝え溶融させると同時に、抵抗溶接の加圧力（垂直方向）を穴を閉じる方向（水平方向）に応力変換することが必要となる。

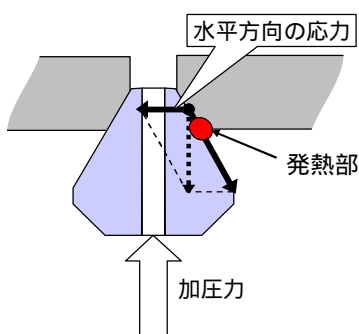


図 - 19 溶接部の形状

この課題を解決するため、図 - 19に示すように抵抗発熱部位の上部にテーパ形状を設け、抵抗発熱で溶融した金属を水平方向の応力で圧接することで、穴を閉じる構造とした。

抵抗溶接条件の3大要素（電流値、通電時間、加圧力）の他、テーパ形状、溶接径の寸法をパラメータスタディーした結果、圧接に必要な応力が発生する最適な寸法、溶接条件を設定できた。

その断面形状を図 - 20に示す。穴を閉じた境界は見えなく結晶粒で埋められていることから、狙い通り抵抗溶接の熱と加圧力を利用しガス充填穴が圧接できていることがわかる。



図 - 20 溶接断面

6 - 5 . 結果

新工法でガス充填バラツキを評価した結果、従来工法に比べガス充填質量 が25%縮小することができ、その結果インフレータ出力バラツキが9%改善できた。

7 . まとめ

上記結果よりガス噴出し開始時間（TTFG）が短く、出力バラツキの小さいハイブリッドインフレータが開発でき、エアバッグ高性能化に貢献できた。

またガス噴出し開始F時間が短縮できることによりインフレータ構造で出力（タンクカーブ）調整代が増え、多種多様なニーズに対応できるチューナビリティの高いインフレータを開発することができた。